

# Action de la fumure organique sur les caractéristiques chimiques et structurales d'un sol de bananeraie

par **J. GODEFROY**<sup>(1)</sup>, **J.-M. CHARPENTIER**<sup>(2)</sup> et **P. LOSSOIS**<sup>(3)</sup>

*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer.*

*Les résultats qui sont présentés dans cet article portent sur la première phase d'un essai de longue durée, que l'on pourrait définir comme le processus d'amélioration d'un sol neuf de forêt, sol dont on pourra constater la médiocrité d'origine. Au cours de cette première époque, les fumures minérale et organique ont été importantes, et les rendements atteints sont d'ordre de 40 t de régimes à l'hectare. On a pu s'étonner de ne pas dépasser ce niveau. Il semble que d'autres facteurs limitants puissent agir, bien que les auteurs soient restés très prudents à ce sujet. Il s'agit vraisemblablement de l'action des parasites des racines, qui contribuent à diminuer sensiblement le potentiel des bananiers à l'approche de la récolte.*

*La seconde phase a débuté et consiste à introduire un traitement dans lequel la fumure organique est abandonnée. Dans quelle mesure, l'amélioration acquise va-t-elle pouvoir se conserver ? C'est ce qu'on peut espérer connaître dans trois ou quatre années.*

*Les techniques d'apports de paillage et de fumier sont onéreuses, et les producteurs manifestent une préférence évidente pour l'usage des engrais minéraux. Mais il est bien connu que les sols après déforestation doivent être améliorés par ces techniques. Le cas le plus fréquent actuellement, en Côte d'Ivoire, est celui de la conservation de la fertilité de bananeraies établies depuis plusieurs années et on notera avec intérêt que les auteurs insistent sur les caractéristiques physiques du sol qui porte cet essai, et sur les conséquences qu'ont pu avoir les traitements de paillage et de fumier. Il est certain que leur emploi conjugué limite sensiblement la dégradation due en particulier à l'intensité et à la somme des précipitations, sujet qu'un des auteurs, J. GODEFROY étudie actuellement plus en profondeur. Ceci doit signifier que les producteurs devraient concentrer leurs efforts, pour ce qui est d'une fumure organique qu'ils ne peuvent appliquer sur toutes les surfaces, en raison de son coût élevé, à protéger les secteurs exposés le plus à la dégradation. Il ressort de la lecture de ces résultats qu'un laboratoire spécialisé peut assez bien définir les conditions où il devient nécessaire d'intervenir.*

J. CHAMPION (I. F. A. C.)

## ACTION DE LA FUMURE ORGANIQUE SUR LES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET STRUCTURALES D'UN SOL DE BANANERAIE

par J. GODEFROY, J.-M. CHARPENTIER et P. LOSSOIS (I. F. A. C.)

*Fruits*, vol. 24, n° 1, janv. 1969, p. 21 à 42.

**RÉSUMÉ.** — L'évolution des caractéristiques physiques et chimiques d'un sol ferralitique cultivé en bananiers avec diverses formes d'apports d'amendements organiques, est étudiée pendant une durée de 9 années. Les effets de trois traitements : 1) paillage, 2) fumier, 3) paillage + fumier sont comparés.

Les caractéristiques chimiques des traitements (1) et (2) sont extré-

mement voisines, sauf pour le phosphore qui est plus élevé avec le fumier. Le traitement (3) augmente les niveaux en carbone, en azote organique, et la capacité de fixation, mais n'a pas d'action sur les autres caractéristiques chimiques.

L'action des traitements, quand elle se manifeste, apparaît dès les toutes premières années (2 à 3 ans), ensuite les teneurs se maintiennent au même niveau, sans qu'apparaissent d'effets cumulatifs.

Les caractéristiques structurales (I<sub>s</sub>, K, S<sub>1</sub>) sont nettement améliorées par l'apport du fumier, surtout lorsque celui-ci est apporté avec du paillage (3).

Les résultats agronomiques (rendement, poids moyen des régimes, circonférence des stipes) sont identiques dans les trois traitements.

## I. CONDITIONS DE L'ÉTUDE

### SOL ET CLIMAT.

L'étude a été réalisée à la station expérimentale de l'I. F. A. C. à Azaguié (Côte d'Ivoire).

(1) Collaboration technique : M<sup>me</sup> MULLER : laboratoire d'agropédologie (I. F. A. C.).

(2) Collaboration : M. BEUGNON : agronome du service banane.

(3) Collaboration : M<sup>me</sup> HARDIVILLIER : service de biométrie (I. F. A. C.).

Le sol est un sol jaune ferralitique de plateau, fortement désaturé (classification G. AUBERT, P. SEGALIN, 1966) mais dont les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface ont été profondément modifiées par la culture. En particulier, les apports d'amendements minéraux et organiques ont eu pour effet d'augmenter le degré de saturation en cations du complexe absorbant et corrélativement de diminuer l'acidité.

L'horizon supérieur (0 à 25-30 cm) est à texture argilo-sablo-limoneuse graveleuse. La fraction graveleuse constituée de graviers de quartz représente suivant les parcelles de 5 à 35 p. cent du volume de sol (moyenne 10 à 20 p. cent). La dimension de ces quartz varie de 2 à 50 mm ; la fraction 2 à 20 mm est la plus importante (environ 75 p. cent). La présence de ces graviers dont la répartition est variable (coefficient de variation : CV = 30 à 40 %) constitue le principal facteur de l'hétérogénéité du sol. On notera que les dispositifs expérimentaux des essais réalisés sur la station d'Azagüé tiennent compte de cette hétérogénéité ; dans l'essai dont fait l'objet cette étude, le pourcentage d'éléments graveleux n'est pas significativement différent entre les traitements. La fraction graveleuse augmente au-dessous de 25 à 30 cm et constitue un obstacle à la pénétration des racines du bananier qui ne se développent, presque exclusivement, que dans l'horizon humifère (0-25 cm).

Le climat est du type sub-équatorial. La pluviométrie fortement contrastée en quatre saisons atteint en juin-juillet l'intensité maximum. La pluviosité moyenne d'Azagüé est de 1 800 mm. Les mois de décembre à février et août sont généralement secs, nécessitant des irrigations ; celles-ci sont effectuées par aspersion à la dose de 100 à 120 mm par mois. Compte tenu des irrigations le drainage annuel est de l'ordre de 1 000 mm.

La température moyenne annuelle est élevée (26° C) et les variations mensuelles sont réduites (3,3° C) (cf. tableau I).

#### DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET TRAITEMENTS.

L'essai est disposé suivant la méthode des blocs FISHER, il comporte 6 répétitions et 3 traitements principaux : 1) paillage, 2) fumier, 3) paillage + fumier.

Les traitements principaux sont subdivisés en 2 sous-traitements correspondant à 2 doses de fumier : 75 et 150 t/ha ; on a donc les 6 traitements suivants :

- 1 a = paillage : 80 t à l'ha ;
- 1 b = paillage : *idem* ;
- 2 a = fumier : 75 t à l'ha ;
- 2 b = fumier : 150 t à l'ha ;
- 3 a = paillage (80 t/ha) + fumier (75 t/ha) ;
- 3 b = paillage (80 t/ha) + fumier (150 t/ha).

Au total l'essai est constitué de 36 parcelles.

Les fumures organiques sont appliquées à chaque replantation, soit tous les 2 ans et demi ou 3 ans. Les apports ont été faits aux époques suivantes :

- 1<sup>er</sup> apport : décembre 1958 ;
- 2<sup>e</sup> apport : juin 1961 ;

3<sup>e</sup> apport : décembre 1964.

Le fumier est fabriqué à partir des déchets de plantation (feuilles et pseudo-troncs de bananiers) et de litière de bovins composée de Guatemala grass (*Tripsacum laxum*).

Le paillage est constitué d'herbes et de branchages coupés dans la forêt.

#### DÉROULEMENT DE L'ESSAI.

L'essai a été mis en place en décembre 1958 sur un terrain cultivé pendant quelques années en bananiers ; auparavant la végétation était la forêt primaire.

La variété est le cultivar Poyo, planté à la densité de 2 500 bananiers à l'hectare.

Après une première révolution de 2 cycles l'essai a été replanté en juin 1961, puis en décembre 1964 à la fin de la deuxième révolution. La fumure minérale est identique pour tous les traitements.

L'azote est apporté à la dose moyenne de 600 kg/ha/an. La forme d'apport la plus utilisée est l'urée, et secondairement le sulfate d'ammoniaque.

La fumure potassique est élevée, elle est de l'ordre de 900 kg/ha/an. Le potassium est presque exclusivement apporté sous forme de chlorure, quelquefois sous forme de sulfate.

Les amendements calco-magnésiens sont effectués sous forme de dolomie : 2 t/ha à chaque replantation, puis 1 t/ha pour les deuxièmes et troisièmes cycles de chaque révolution. A partir de la troisième révolution (décembre 1964) l'apport à la plantation a été diminué : 1 t/ha.

Le phosphore est fourni par les scories de déphosphoration à raison de 1 t/ha/an. Depuis la troisième révolution la fumure phosphatée a été supprimée pour les deuxièmes et troisièmes cycles.

L'évolution du sol a été suivie depuis l'implantation de l'essai (1958) puis en :

- juin 1961 : fin de la première révolution ;
- juin 1963 : fin du deuxième cycle de la deuxième révolution ;
- décembre 1964 : fin de la deuxième révolution ;
- janvier 1966 : fin du premier cycle de la troisième révolution ;
- janvier 1967 : fin du deuxième cycle de la troisième révolution.

L'étude des caractéristiques physiques et chimiques du sol, ainsi que celle des rendements n'a permis de mettre en évidence aucune différence significative entre les sous-traitements (dose simple et double de fumier). Pour cette raison, et dans un but de simplification dans la présentation des résultats, nous n'avons considéré

TABLEAU I.  
Climatologie I. F. A. C., Azaguié.

	JANV.	FÉVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.	Total annuel	Moyenne annuelle
Température minima (1).....	20,9	21,2	21,6	21,8	22,0	21,5	20,8	20,3	20,8	21,2	21,2	20,7		21,7
Température maxima.....	31,1	32,8	32,9	32,9	31,7	29,5	28,3	27,8	29,2	30,2	31,2	30,8		30,7
Température moyenne.....	26,0	27,0	27,2	27,3	26,8	25,5	24,5	24,0	25,0	25,7	26,2	25,7		25,9
Précipitations (mm) (2).....	38,0	69,5	147,7	152,0	221,6	361,2	191,5	35,0	120,2	217,1	204,8	61,6	1 802	
Nombre de jours de pluie (3).	3	5	9	10	13	17	12	7	10	12	15	7	120	
Année.....	1956- 1962	1956	1951	1951	1962	1965	1958	1958	1960	1957	1965	1952		
Pluie minimum mensuel (2)...	0	0	40,2	44,9	139,1	150,9	0	1	40,7	150,5	103,1	13,1		
Année.....	1963	1960	1963	1962	1953	1955	1963	1963	1952	1953	1958- 1963	1964		
Pluie maximum mensuel (2)...	127,7	162,2	307,5	286,0	324,8	506,1	391,4	154,0	273,3	369,8	297,8	184,7		
Hygrométrie à 7 h (4).....	95,8	96,0	96,5	97,5	97,2	97,4	97,7	97,4	97,1	97,1	97,1	98,1		97,0
Hygrométrie à 12 h.....	68,8	62,7	63,9	68,7	70,1	77,3	76,5	76,4	74,0	72,2	68,4	69,3		70,7
Hygrométrie à 17 h.....	81,9	75,0	78,1	81,8	88,3	89,2	84,5	83,4	81,6	81,2	85,7	85,4		83,0
Hygrométrie moyenne.....	82,1	77,9	79,5	82,6	85,2	87,9	85,8	85,7	84,2	83,5	83,7	84,2		83,6
ETP (mm), Thornthwaite (5).	130	139	141	142	137	125	113	106	119	127	132	127	1 538	
ETP (mm), Blaney Criddle (5).	130	125	140	140	140	135	135	130	130	135	130	130	1 600	
Évaporation Piche (mm) (6)...	43	52	55	46	40	30	31	33	37	41	37	37	482	

(1) Les températures sont les moyennes de 4 années : 1962 à 1965.

(2) Moyenne de 15 années : 1951 à 1965.

(3) Moyenne de 7 années : 1959 à 1965.

(4) Les hygrométries sont les moyennes de 4 années 1962 à 1965.

(5) Calculé d'après les températures moyennes de 4 années : 1962 à 1965.

(6) Calculé sur 4 années : 1962 à 1965.

que les traitements principaux : paillage, fumier, fumier + paillage. Chaque valeur donnée dans les tableaux est donc la moyenne calculée sur 12 parcelles élémentaires (2 sous-parcelles, 6 répétitions). Les prélèvements de

sol sont effectués de 0 à 25 cm de profondeur au centre du carré formé par 4 bananiers ; le nombre de prélèvements ponctuels correspond au nombre de bananiers significatifs de chaque sous-parcelle, soit 16.

## II. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

### MATIÈRES ORGANIQUES.

Le carbone total est significativement supérieur ( $P = 0,01$ ) dans les parcelles qui reçoivent à la fois du fumier et du paillage. Ce niveau plus élevé par rapport aux parcelles n'ayant que du fumier ou que du paillage apparaît dès le prélèvement de 1961. Cette différence se maintient au cours des 9 années (cf. tableau II et fig. 1).

Les teneurs en matières organiques ne diffèrent pas entre les traitements « paillage » et « fumier ». Dans ces 2 parcelles les niveaux ne varient pratiquement pas entre 1958 et 1967.

Quel que soit le traitement, les niveaux en matières organiques sont satisfaisants (fig. 1) : 2,6 à 3,4 p. cent dans les traitements « fumier » et « paillage », 3,5 à 3,8 p. cent dans les traitements « fumier + paillage ».

Il y a une interaction entre les traitements princi-

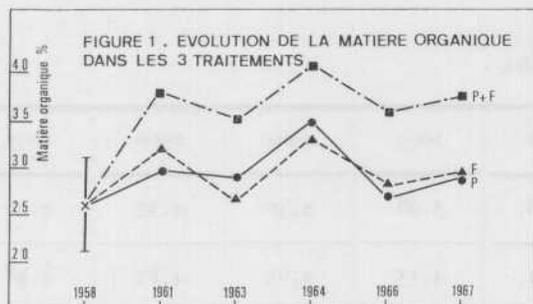
TABLEAU II.

Matières organiques.

ÉLÉMENT	TRAITEMENT	1961	1963	1964	1966	1967
Carbone total (%) 1958 = 1,5 ± 0,3	Paillage.....	1,73	1,68	2,03	1,58	1,68
	Fumier.....	1,84	1,53	1,89	1,63	1,71
	Paillage + fumier.....	2,20	2,05	2,39	2,10	2,18
	PPDS 5 %.....	0,19	0,27	0,21	0,20	0,19
	PPDS 1 %.....	0,27	0,38	0,28	0,29	0,27
Azote total (‰) 1958 = 1,1 ± 0,2	Paillage.....	1,29	1,19	1,27	1,13	1,24
	Fumier.....	1,35	1,14	1,23	1,18	1,33
	Paillage + fumier.....	1,53	1,36	1,50	1,48	1,57
	PPDS 5 %.....	0,19	0,19	1,16	0,09	+
	PPDS 1 %.....	NS	NS	0,21	0,13	NS
Rapport C/N 1958 = 13,6	Paillage.....	13,7	14,5	16,0	13,8	13,5
	Fumier.....	13,7	14,0	15,1	13,7	12,7
	Paillage + fumier.....	14,4	15,1	15,9	14,1	13,8
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS	NS	NS

PPDS : plus petite différence significative.

NS : Différence non significative ; + : presque significatif à 5 %.



paux et les sous-traitements ( $P = 0,01$ ) : doubler les doses de fumier en présence de paillage est plus efficace que de les doubler en absence de paillage.

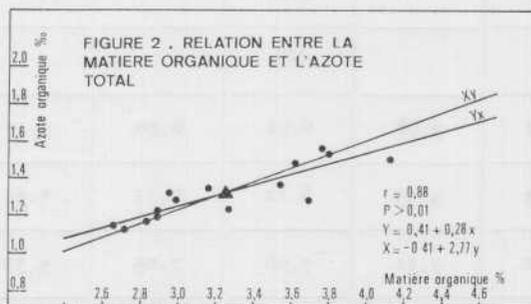
Le carbone est un des éléments dont la variation est la plus faible, les coefficients de variation (\*) pour chacune des années considérées varient de 8 à 10 p. cent

La teneur en azote organique varie dans le même sens que le carbone : « paillage + fumier » est supérieur aux 2 autres traitements qui ne diffèrent pas entre eux ( $P = 0,05$ ) (cf. tableau II).

Comme pour la matière organique, le niveau en azote total varie peu au cours des 9 années de culture, dans les parcelles dans lesquelles on apporte un amendement organique unique : 1958 = 1,1 ± 0,2 p. mille, 1967 = 1,24 p. mille (paillage) et 1,33 p. mille (fumier). Avec un apport de paillage et de fumier, la teneur augmente dès le prélèvement de 1961, puis se maintient à ce niveau jusqu'en 1967 :

- 1958 = 1,1-0,2 p. mille
- 1961 = 1,53 p. mille
- 1964 = 1,53 p. mille
- 1967 = 1,57 p. mille

L'évolution similaire de l'azote total et de la matière organique s'explique par la corrélation étroite entre ces 2 caractéristiques ( $r = 0,88$ ) (cf. fig. 2).



(\*) Coefficient de variation =  $CV \% = \frac{\text{écart type} \times 100}{\text{moyenne}}$

De même que pour le carbone, il y a une interaction entre les traitements principaux et les sous-traitements. Les coefficients de variation sont du même ordre que ceux du carbone.

Les rapports carbone-azote sont très constants dans le temps et entre les traitements ; les différences ne sont jamais significatives. Les valeurs de ce rapport sont toujours voisines de 14 à 15.

Les coefficients de variation sont faibles : 4 à 5 p. cent.

COMPLEXE ABSORBANT.

Cations échangeables.

La teneur en calcium ne varie ni entre les traitements ni entre les années (cf. tableau III). Les coefficients de variation sont élevés : moyenne = 22 à 24 p. cent (valeurs extrêmes 18 à 29 p. cent).

Pour certaines années il existe une corrélation entre le carbone et le calcium échangeable, mais les valeurs des coefficients de corrélation sont très variables d'une année à l'autre.

Valeurs de « r » entre C et Ca.

	1964	1966	1967
Sous-traitements « a » (dose simple de fumier).....	0,71 (**)	0,30	0,46 (*)
Sous-traitements « b » (dose double de fumier).....	0,37	0,77 (**)	0,39

(\*) Significatif à 5 %.  
(\*\*) Significatif à 1 %.

Les niveaux en magnésium sont les plus élevés dans le traitement « paillage + fumier », mais les différences sont faibles et ne sont significatives que pour 3 années (1 fois avec une probabilité de 5 p. cent, 2 fois avec une probabilité de 1 p. cent).

Les teneurs en magnésium sont très voisines dans les traitements : « paillage » et « fumier » ; les différences ne sont pas significatives (exception pour l'année 1963, sans que l'on puisse expliquer ce cas qui semble aberrant).

Les coefficients de variation sont élevés quoique légèrement plus faibles que pour le calcium : CV moyen = 15 à 18 p. cent (extrêmes 12 à 20 p. cent).

Il existe une corrélation entre les teneurs en carbone et en magnésium, mais bien que généralement significatifs, les coefficients de corrélation sont faibles, traduisant une relation assez lâche entre ces 2 caractéristiques.

TABLEAU III.  
Cations échangeables.

ÉLÉMENT	TRAITEMENT	1961	1963	1964	1966	1967
Calcium (meq. % g) 1958 = 4,2 ± 0,7	Paillage.....	4,16	5,98	5,30	4,55	4,20
	Fumier.....	4,11	4,15	4,65	4,87	4,48
	Paillage + fumier.....	4,67	5,37	5,36	5,32	4,36
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS	NS	NS
Magnésium (meq. % g) 1958 = 1,1 ± 0,4	Paillage.....	1,13	1,36	1,16	1,16	0,78
	Fumier.....	1,19	1,05	1,01	1,21	0,84
	Paillage + fumier.....	1,60	1,37	1,22	1,49	1,00
	PPDS 5 %.....	0,35	0,22	NS	0,20	NS
	PPDS 1 %.....	NS	0,31	NS	0,29	NS
Potassium (meq. % g) 1958 = 0,5 ± 0,15	Paillage.....	0,54	0,34	0,34	0,29	0,19
	Fumier.....	0,64	0,34	0,37	0,37	0,22
	Paillage + fumier.....	0,67	0,36	0,36	0,33	0,21
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS	NS	NS
Sodium (meq. % g)	Paillage.....	0,08		0,10		
	Fumier.....	0,08		0,09		
	Paillage + fumier.....	0,08		0,09		
	PPDS 5 %.....	NS		NS		
Somme des cations (meq. % g) 1958 = 5,8 ± 0,8	Paillage.....	5,92	7,68	6,91	6,00	5,17
	Fumier.....	6,03	5,55	6,12	6,33	5,54
	Paillage + fumier.....	6,92	7,11	7,06	7,05	5,57
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS	NS	NS

Valeurs de « r » entre C et Mg.

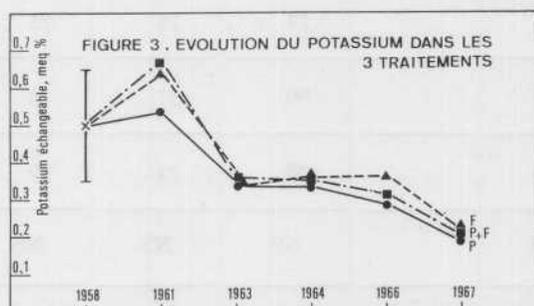
	1964	1966	1968
Sous-traitements « a ».....	0,66 (**)	0,46 (*)	0,65 (**)
Sous-traitements « b ».....	0,36	0,53	0,43 (+)

(+) Presque significatif à 5 %.

(\*) Significatif à 5 %.

(\*\*) Significatif à 1 %.

La teneur en *potassium* varie peu entre les traitements et les quelques différences que l'on observe certaines années ne sont jamais significatives. La courbe d'évolution du potassium dans le temps (cf. tableau III et fig. 3) se caractérise par une chute brutale entre 1961 et 1963, puis une baisse progressive entre 1963 et 1967.



La diminution des niveaux entre 1961 et 1963 correspond à la pratique de l'irrigation qui a débuté sur la station d'Azaguié lors de la saison sèche 1961-1962. Il est vraisemblable que l'irrigation a eu pour effet d'augmenter, d'une part le lessivage du potassium du sol, d'autre part les exportations de cet élément en liaison avec une augmentation de la production de régimes de bananes.

Il n'y a pas d'explications satisfaisantes qui permettent d'interpréter la diminution de K entre 1964 et 1967.

Les coefficients de variation sont élevés : moyenne : 20 à 23 p. cent (extrêmes 19 à 30 p. cent). Il n'y a pas de corrélation entre K et C.

Les valeurs du *sodium* sont très faibles (inférieur à 0,1 meq. p. cent g) et identiques dans toutes les parcelles.

La somme des cations échangeables est toujours plus élevée dans les parcelles recevant la fumure organique maximum, mais les différences ne sont jamais significatives. Les coefficients de variation sont du même ordre que ceux du calcium et du magnésium, moyenne : 20 p. cent (extrêmes 14 à 25 p. cent).

### Capacité de fixation.

La capacité de fixation des cations du complexe absorbant varie significativement avec les traitements à partir de 1964 : minimum avec le fumier seul, maximum avec le paillage + fumier. Seules sont significatives les différences entre « P » et « P + F » et entre « F » et « P + F » ( $P = 0,01$ ). Bien que significatives ces différences sont faibles ; elles n'ont pas de signification agronomique (cf. tableau IV). Il n'y a d'interaction entre les traitements et les sous-traitements, que pour le prélèvement de l'année 1966 ( $P = 0,05$ ).

Cette caractéristique est avec le pH celle dont la variation est la plus faible : CV = 3,9 à 5,4 p. cent.

La corrélation avec la teneur en carbone total est toujours bonne ( $P$  supérieur à 0,01).

Valeurs de « r » entre C et T.

	1964	1966	1967
Sous-traitements « a » (dose simple de fumier).....	0,87 (**)	0,74 (**)	0,85 (**)
Sous-traitements « b » (dose double de fumier).....	0,78 (**)	0,97 (**)	0,71 (**)

(\*\*) Significatif à 1 %.

### Taux de saturation et pH.

Le degré de saturation en cations du complexe absorbant est très constant dans le temps et entre les traitements qui ne diffèrent pas entre eux (cf. tableau IV).

Les coefficients de variation sont moyens : 7,0 à 9,2 p. cent.

Les traitements sont sans action sur le pH dont la variation est faible : coefficient de variation inférieur à 6 p. cent (3,0 à 5,6 p. cent). La diminution du pH entre les années 1961-1963 d'une part, et 1963-1964 d'autre part, est difficilement interprétable, compte tenu des changements de laboratoire d'analyse (cf. tableau IV).

Il existe une corrélation étroite ( $P$  supérieur à 0,01) entre le coefficient de saturation du complexe absorbant et les valeurs du pH (cf. fig. 4 sur laquelle on a porté les points moyens par année).

Valeurs de « r » entre V % et pH.

	1964	1966	1967
Sous-traitements « a ».....	0,90 (**)	0,81 (**)	0,91 (**)
Sous-traitements « b ».....	0,78 (**)	0,80 (**)	0,87 (**)

(\*\*) Significatif à 1 %.

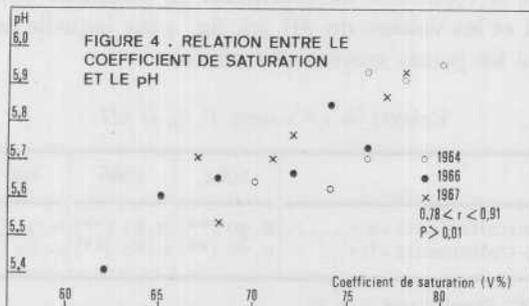
TABLEAU IV.

Capacité de fixation. Taux de saturation. pH.

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1961	1963	1964	1966	1967
Capacité de fixation (1) (meq. % g)	Paillage.....	9,00		9,43	8,01	7,06
	Fumier.....	8,20		8,93	7,75	6,77
	Paillage + fumier.....	12,00		10,41	9,52	7,92
	PPDS 5 %.....	NS		0,91	0,47	0,51
	PPDS 1 %.....	NS		1,23	0,67	0,72
Coefficient de saturation (%) (1)	Paillage.....	70		72	75	73
	Fumier.....	72		69	77	73
	Paillage + fumier.....	71		68	74	70
	PPDS 5 %.....	NS		NS	NS	NS
pH (2) 1958 = 6,0 ± 0,8	Paillage.....	6,48	6,25	5,70	5,66	5,61
	Fumier.....	6,60	6,01	5,63	5,94	5,90
	Paillage + fumier.....	6,40	6,07	5,62	5,78	5,65
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS	NS	NS

(1) Les résultats des années 1958 et 1963 ont été éliminés car les analyses ont été effectuées par des méthodes différentes de celles des autres années.

(2) 1961 et 1963 : méthode à l'eau : rapport 1/2,5 (O. R. S. T. O. M. Bondy et O. R. S. T. O. M. Adiopodoumé).  
1958, 1964, 1966, 1967 : méthode sur pâte saturée (IFAC).



#### PHOSPHORE.

Les réserves en *phosphore total* sont un peu plus élevées dans les parcelles recevant du fumier, mais ne diffèrent pas entre les traitements « fumier » et « paillage + fumier ». Bien que significatifs (3 années sur 4) les écarts sont faibles : de l'ordre de 0,1 p. mille pour une teneur de 0,6 à 0,7 p. mille. Ces différences n'ont pas de signification agronomique.

Les niveaux sont très constants d'une année sur

l'autre. Pour certaines années les analyses de cet élément n'ont pas été faites, ou seulement effectuées sur les traitements « paillage » et « fumier » (cf. tableau V).

Les coefficients de variation sont moyens : 8 à 13 p. cent.

Les taux de *phosphore assimilable* varient dans le même sens que ceux du phosphore total, mais les différences en valeur relative sont beaucoup plus élevées (30 à 40 p. cent). Les niveaux sont les plus élevés dans les traitements à fumure maximum : 0,24 à 0,26 p. mille au lieu de 0,22 p. mille dans les traitements recevant seulement du fumier ; les différences sont significatives entre les traitements « paillage » et « fumier » ou « paillage + fumier » mais non entre « F » et « P + F ». Dans les parcelles « paillage » les niveaux bien que plus faibles : 0,14 à 0,17 p. mille sont encore très suffisants pour la culture du bananier.

Seules les valeurs de 1961 dont l'analyse du phosphore assimilable est faite par la méthode Truog, ne sont pas statistiquement significatives bien que les dif-

férences entre les moyennes soient élevées. Ce cas aberrant s'explique par le coefficient de variation très élevé 51 p. cent. Pour les années 1964, 1966 et 1967, la détermination du phosphore assimilable est faite par la mé-

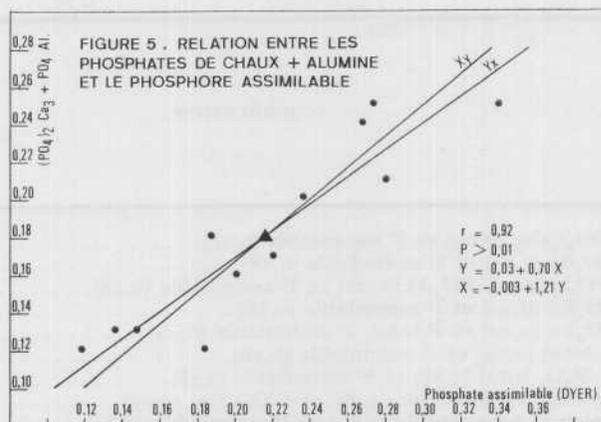


TABLEAU V.

Phosphore : résultats exprimés en  $P_2O_5$  p. mille.

FORME	TRAITEMENT	1961	1963	1964	1966	1967
Phosphore assimilable (1)	Paillage.....	0,13		0,17	0,16	0,14
	Fumier.....	0,19		0,22	0,22	0,22
	Paillage + fumier.....	0,31		0,26	0,26	0,24
	PPDS 5 %.....	NS		0,06	0,05	0,06
	PPDS 1 %.....	NS		0,08	0,07	0,09
	Phosphore total	Paillage.....	0,54	0,60	0,59	0,56
Fumier.....		0,61	0,70	0,73	0,67	
Paillage + fumier.....		0,66	0,67			
PPDS 5 %.....		0,06	NS	0,07	+ (2)	
PPDS 1 %.....		0,09	NS	0,10	NS	

(1) 1961 : méthode TRUOG ; 1964, 1966 ; 1967 : méthode DYER.

(2) Différences presque significatives au seuil 5 %.

thode DYER (extraction citrique) ; les coefficients de variation varient entre 19 et 24 p. cent.

L'interaction entre traitements principaux et sous-traitements n'est significative que pour l'année 1966.

Une analyse des différentes formes de phosphores (5),

effectuée sur les échantillons du prélèvement 1966, par B. DABIN (O. R. S. T. O. M.), montre que l'augmentation du phosphore assimilable par l'apport du fumier, est due à une augmentation des phosphates d'alumine et de chaux, mais non du phosphate de fer.

CORRÉLATION	VALEUR DU COEFFICIENT DE CORRÉLATION ( $r$ )	NOMBRE DE COUPLES	PROBABILITÉ
( $\text{PO}_4$ ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> (0,09) et P assimilable (0,18).....	0,81	12	sup. à 0,01
$\text{PO}_4\text{Al}$ (0,13) et P assimilable (0,18).....	0,90	12	sup. à 0,01
( $\text{PO}_4$ ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> + $\text{PO}_4\text{Al}$ (0,22) et P assimilable (0,18).....	0,92	12	sup. à 0,01
$\text{PO}_4\text{Fe}$ (0,20) et P assimilable (0,18).....	0,34	12	N. S.
$\text{PO}_4\text{Fe}$ (0,20) et P total, P assimilable (0,44).....	0,42	12	N. S.
P total (0,64) et P assimilable (0,18).....	0,56	12	0,05
N/ $\text{P}_2\text{O}_5$ total (1,87) et P assimilable (0,18).....	- 0,49	12	0,10
Calcium échangeable (4,36) et ( $\text{PO}_4$ ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub> (0,09).....	0,61	12	0,05
Calcium échangeable (4,60) et P assimilable (0,22).....	0,63	36	sup. à 0,01
Carbone total (1,77) et P assimilable (0,22).....	0,70	36	sup. à 0,01

Les chiffres entre parenthèses indiquent les valeurs des moyennes. Les phosphates, le P total et le P assimilable sont exprimés en  $\text{P}_2\text{O}_5$  p. mille.

Teneurs en phosphate de chaux, d'alumine et fer.  
(Résultats exprimés en  $\text{P}_2\text{O}_5$  p. mille.)

TRAITEMENTS	( $\text{PO}_4$ ) <sub>2</sub> Ca <sub>3</sub>	$\text{PO}_4\text{Al}$	$\text{PO}_4\text{Fe}$
Paillage.....	0,063	0,110	0,191
Fumier.....	0,107	0,149	0,213
PPDS 5 %.....	+	0,021	N. S.
PPDS 1 %.....	N. S.	0,033	N. S.
CV %.....	37	11	26

(+) Presque significatif au seuil 5 %.

L'étude des corrélations entre les diverses formes de phosphates et le phosphore assimilable (méthode DYER) montre que la fraction dite « assimilable » est en étroite corrélation avec les teneurs en phosphate de calcium et en phosphate d'alumine :  $0,81 < r < 0,92$  (cf. fig. 5).

La teneur en phosphore assimilable est également en relation avec la teneur en calcium fixé sur le complexe absorbant ( $r = 0,63$ ) et avec le taux de carbone ( $r = 0,70$ ).

Bien que significatives les relations entre P total ou le rapport N total/ $\text{P}_2\text{O}_5$  total et P assimilable sont assez lâches ( $r = 0,56$  et  $-0,49$ ).

### III. CARACTÉRISTIQUES STRUCTURALES

#### GÉNÉRALITÉS.

Le sol est un support physique qui permet à la plante de développer plus ou moins ses racines, lesquelles absorbent l'eau et respirent.

Les trois facteurs : pénétration, alimentation en eau et respiration, conditionnent pour une large part le développement de la plante et les rendements.

Du point de vue du sol, les principales propriétés mesurables sont :

- la texture,
- la structure,
- les rapports de l'eau et du sol.

Il existe des relations étroites entre ces différentes propriétés.

La *Texture* est la proportion d'éléments de diffé-

rentes dimensions. Dans cet essai la composition granulométrique est assez homogène. La variation la plus importante concerne la fraction argileuse (0-20  $\mu$  dont le CV = 18 p. cent. Pour aucune des fractions

les différences ne sont significatives entre les traitements. La variation des caractéristiques structurales est donc liée aux effets des traitements et non à des différences de texture.

Composition granulométrique (prélèvement 1967).

ÉLÉMENTS	PAILLAGE	FUMIER	PAILLAGE + FUMIER	SIGNIFICATION AU TEST F	CV (%)
Argile (%).....	20,0	16,7	17,0	N. S.	18
Limon fin (%).....	8,0	7,5	7,5	N. S.	6,8
Limon grossier (%).....	15,7	15,8	15,1	N. S.	5,4
Sable fin (%).....	24,7	26,2	26,0	N. S.	5,5
Sable grossier (%).....	28,6	30,9	31,0	N. S.	9,5

La *Structure* est l'assemblage de ces éléments, et la solidité de l'assemblage, ce que l'on appelle aussi : *Stabilité structurale*. L'édifice structural renferme des vides que l'on appelle pores ; le nombre et la dimension des pores caractérisent également la structure et déterminent pour une grande part les rapports de l'eau et du sol.

La *Stabilité structurale* est définie par la proportion d'agrégats stables dans l'eau, d'échantillons humectés ou non par des liquides organiques, dans le but d'apporter des nuances à l'action directe de l'eau sur la terre sèche. C'est ainsi qu'un échantillon est « pré-traité » à l'alcool éthylique, un deuxième au benzène, le troisième ne recevant aucun prétraitement. La dispersion et la teneur en agrégats stables permettent de définir un *indice d'instabilité* : Is (méthode de Hénin et Monnier).

L'instabilité est en relation avec la *perméabilité* : K (relation de Hénin et Monnier).

La *Stabilité structurale* est calculée d'après l'indice d'instabilité et la perméabilité par la formule suivante :

$$S_t = 20 (2,5 + \log 10 K - 0,837 \log 10 I_s)$$

La *Porosité* se définit par plusieurs grandeurs :

La *porosité totale* qui est la proportion totale de pores par rapport au volume total de sol à saturation ; elle représente donc le volume de la phase gazeuse et de la phase liquide d'un volume de sol.

La *porosité utile* qui correspond à l'air du sol, lorsque celui-ci est à une humidité correspondant au point de flétrissement :

Pu = Porosité totale. — Humidité à pF 4,2 p. cent volume.

La *capacité minima pour l'air*, qui est le volume d'air d'un sol ressuyé, c'est-à-dire à une humidité voisine de la capacité au champ :

Capacité minima pour l'air : A = Porosité totale. Humidité à pF 3,0 p. cent volume.

Les *caractéristiques hydriques* sont définies par :

L'*humidité à pF 3,0* qui est l'eau retenue avec une force de 1 000 g/cm<sup>2</sup> ; cette humidité est généralement assimilée à la *capacité au champ*.

L'*humidité à pF 4,2* ou *point de flétrissement* qui est l'eau retenue avec une force de 16 000 g/cm<sup>2</sup>.

L'*eau utile* : Eu = Humidité à pF 3,0. Humidité à pF 4,2.

Les travaux L. SHMUELI et J. MORELLO (1) ont montré que cette eau dite « utile » ne l'était en fait que partiellement : « A partir du point « capacité » la faculté d'utilisation de l'eau est variable, diminuant rapidement quand un tiers en est consommé, et s'annulant bien avant le point dit de « flétrissement ».

L'intérêt de cette caractéristique, comme d'ailleurs celui des différents indices de structure, est principalement de permettre des comparaisons entre les traitements d'un même essai. Il faut considérer davantage les « valeurs relatives » de chaque traitement, que les valeurs « absolues ».

#### Indices de structure.

Aucune des grandeurs définies précédemment ne suffit à elle seule à caractériser la structure d'un sol ; c'est l'ensemble de ces grandeurs qui permet de déterminer la qualité structurale d'un sol.

Cette qualité structurale est d'autant meilleure que la stabilité structurale est plus grande, et que la porosité et la rétention d'eau sont plus élevées.

Expérimentalement B. DABIN (3) a constaté que le produit :

$$F_1 = S_t \sqrt{Pu \times Eu}$$

était en relation étroite avec la qualité structurale d'un sol évaluée directement sur le terrain.  $F_1$  ainsi défini est appelé : *Indice général de structure*.

B. DABIN définit également deux indices complémentaires :

$$\text{Indice d'humidité} : He = \sqrt{\frac{Pu \times Eu}{S_t}}$$

$$\text{Indice de ressuyage} : F_2 = A \times \log 10 K$$

Les études de structure n'ont été effectuées dans cet essai qu'à partir du prélèvement de l'année 1964.

### 3-2. STABILITÉ STRUCTURALE.

#### 3.2.1. Indice d'instabilité : $I_s$ .

Les valeurs des indices  $I_s$  sont significativement différentes entre les trois traitements pour les trois années étudiées ( $P = 0,01$ ) (cf. tableau VI).

La stabilité est la meilleure dans les traitements « paillage + fumier » (indices les plus faibles), puis dans les parcelles « fumier ». Les traitements « paillage » ont les indices d'instabilité les moins bons.

Les interactions entre les traitements principaux et les sous-traitements ne sont pas significatives.

L'étude des différents taux d'agrégats stables à l'eau après « prétraitement » à l'alcool et au benzène et sans prétraitement montre que les parcelles recevant du fumier ont des agrégats plus stables. Les traitements se classent dans l'ordre décroissant suivant :

- 1 : paillage + fumier,
- 2 : fumier,
- 3 : paillage.

Les différences sont significatives avec une probabilité variant suivant les années entre 1 et 5 p. cent (cf. tableau VI).

L'élévation du taux d'agrégats « prétraités » à l'alcool dans les parcelles recevant du fumier traduit une amélioration de la cohésion. L'augmentation du taux d'agrégats « prétraités » au benzène exprime un accroissement de la stabilité de la structure due à une diminution de la mouillabilité des agrégats.

Les trois catégories d'agrégats sont en étroite corrélation, comme le montrent les valeurs des coefficients «  $r$  » calculés pour l'année 1964.

	VALEUR DE « $r$ »
Alcool $\times$ eau.....	0,84 (**)
Alcool $\times$ benzène.....	0,78 (**)
Eau $\times$ benzène.....	0,94 (**)

(\*\*) Probabilité 1 %.

La dispersion des éléments fins : argile et limon varie en sens inverse du taux d'agrégats : dispersion maximum dans les traitements « paillage », dispersion minimum dans les parcelles « paillages + fumier » (cf. tableau VI).

L'étude de la variation des différentes caractéristiques utilisée pour le calcul de l'indice d'instabilité montre que la variation est la plus faible sur la mesure des agrégats, et sur les sables grossiers. Sur ces caractéristiques la variation est du même ordre de grandeur ; les coefficients de variation sont moyens : 5 à 10 p. cent. La variation sur le pourcentage d'argile + limon dispersé est plus élevée : CV = 14 à 15 p. cent.

Les variations de l'indice  $I_s$  sont beaucoup plus élevées que celles de chacune des caractéristiques à partir desquelles est calculé cet indice : CV = 15 à 28 p. cent.

Les coefficients de variation de  $I_s$  diminuent au cours des trois séries d'échantillonnage comme le montrent les résultats ci-dessous, sans que l'on puisse en donner une explication.

Valeurs des coefficients de variations : CV %.

	1964	1966	1967
Agrégats alcool.....	7,1	8,1	7,7
Agrégats eau.....	5,5	9,0	7,0
Agrégats benzène.....	7,8	10	7,0
Sable grossier.....	7,7	9,1	8,7
A + L : dispersion maximum.....	14	14	15
$I_s$ .....	28	22	15

Le calcul de l'erreur sur un échantillon de cet essai analysé douze fois a donné les valeurs suivantes :

	CV %
Agrégats alcool.....	1,7
Agrégats eau.....	2,8
Agrégats benzène.....	2,6
Moyenne des agrégats.....	1,3
Sable grossier.....	2,7
A + L : dispersion maximum.....	2,1
$I_s$ .....	3,6

TABLEAU VI.  
Indice d'instabilité :  $I_s$ .

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1964	1966	1967
Agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool (%)	Paillage.....	46,7	48,0	49,2
	Fumier.....	48,3	49,8	50,9
	Paillage + fumier.....	50,7	55,3	56,1
	PPDS 5 %.....	+	4,16	2,88
	PPDS 1 %.....	NS	5,92	4,09
	Interaction traitement/sous-traitement.....	NS	NS	*
Agrégats stables à l'eau sans prétraitement (%)	Paillage.....	38,8	35,2	35,5
	Fumier.....	40,8	39,4	37,2
	Paillage + fumier.....	43,5	34,0	40,0
	PPDS 5 %.....	3,02	2,95	3,41
	PPDS 1 %.....	4,30	4,20	NS
	Interaction traitement/sous-traitement.....	NS	NS	*
Agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène (%)	Paillage.....	37,3	34,4	35,0
	Fumier.....	39,7	37,6	37,7
	Paillage + fumier.....	41,9	42,9	40,6
	PPDS 5 %.....	2,81	2,48	3,81
	PPDS 1 %.....	3,99	3,53	NS
	Interaction traitement/sous-traitement.....	NS	NS	*
Argile (%) + limon (%) Dispersion maximum	Paillage.....	16,6	20,3	20,0
	Fumier.....	13,4	16,4	17,1
	Paillage + fumier.....	12,3	13,8	14,3
	PPDS 5 %.....	2,41	2,30	1,96
	PPDS 1 %.....	NS	3,27	2,65
Sable grossier (%)	Paillage.....	29,9	28,7	28,8
	Fumier.....	31,1	31,6	32,0
	Paillage + fumier.....	30,3	31,4	31,8
	PPDS 5 %.....	NS	2,35	NS
	PPDS 1 %.....	NS	NS	NS
Indice d'instabilité $I_s = \frac{(A + L) \% \text{ max.}}{\Sigma \frac{AG}{3}} - 0,9 \text{ S. G.}$ (Les indices les plus faibles sont les meilleurs)	Paillage.....	1,23	1,57	1,51
	Fumier.....	0,92	1,23	1,30
	Paillage + fumier.....	0,73	0,76	0,89
	PPDS 5 %.....	0,24	0,25	0,24
	PPDS 1 %.....	0,34	0,36	0,34
	Interaction traitement/sous-traitement.....	NS	NS	NS

Abréviations : NS : non significatif ; + : presque significatif à 5 % ; \* : significatif à 5 %.

L'erreur d'analyse est donc faible. Il faut noter que, comme pour beaucoup de caractéristiques physiques et particulièrement pour l'indice de perméabilité, l'erreur d'analyse varie avec le type de sol. Sur des mesures d'indice de perméabilité effectuées par le même manipulateur, le coefficient de variation varie de 5 p. cent pour un sol d'alluvions de faible perméabilité (1 à 2 cm/h) à 49 p. cent pour un sol ferrallitique de perméabilité élevée (9 à 15 cm/h).

L'étude des corrélations entre la teneur en carbone total et les agrégats montre qu'il y a une relation entre ces caractéristiques. Bien que généralement significa-

tifs au seuil 5 p. cent les coefficients de corrélation «  $r$  » sont généralement assez faibles, traduisant une liaison assez lâche. La corrélation est la meilleure entre C et les agrégats à l'alcool (0,46 à 0,83). La corrélation entre C et Is (corrélation négative) est étroite pour les prélèvements des années 1966 et 1967 ( $-0,67$  à  $-0,82$ ).

L'intensité de la corrélation entre Is et le calcium échangeable (corrélation négative) n'est pas suffisamment forte pour en tirer un enseignement pratique ( $-0,3$  en moyenne).

Valeurs des coefficients de corrélation «  $r$  ».

	1964		1966		1967	
	S/T a	S/T b	S/T a	S/T b	S/T a	S/T b
Carbone × agrégats alcool.....	0,46	0,72	0,70	0,63	0,83	0,72
Carbone × agrégats eau.....	0,44	0,37	0,45	0,68	0,59	0,58
Carbone × agrégats benzène.....	0,48	0,43	0,49	0,78	0,38	0,65
Carbone × Is.....	$-0,58$	$-0,35$	$-0,70$	$-0,82$	$-0,74$	$-0,67$
Calcium × Is.....	$-0,31$	$-0,29$	$-0,26$	$-0,65$	$-0,33$	$-0,29$

Seuils de signification : 5 %  $r = 0,47$ , 1 %  $r = 0,59$ .

### 3.2.2. Indice de perméabilité : K cm/heure.

L'indice de perméabilité croît des traitements « paillage » aux traitements « fumier » et des traitements « fumiers » aux traitements « paillage + fumier » (cf. tableau VII).

Il y a une interaction entre les traitements et les sous-traitements : doubler la dose de fumier en présence de paillage augmente davantage la perméabilité que de doubler la dose en absence de paillage.

Des modifications dans la technique de K ont été apportées à partir des analyses 1967 dans le but de diminuer l'erreur d'analyse (remplissage des tubes par fraction de 10 g pesés, échantillons mis en atmosphère à hygrométrie constante, eau à température constante). Ces modifications ont permis d'abaisser le coefficient de variation de l'analyse de 15 à 25 p. cent, à 3 à 10 p. cent (N = 12). Il faut noter que malgré l'abaissement de l'erreur d'analyse en 1967 le coefficient de variation de l'essai n'a pas diminué pour autant : 1964 : CV = 27 p. cent, 1966 : CV = 21 p. cent, 1967 : CV = 27 p. cent. La variation sur les résultats est donc due en majeure partie à l'hétérogénéité du sol de cet essai.

Compte tenu des changements intervenus dans les

manipulations, il ne faut pas accorder de significations aux variations entre les années. Cette remarque est valable pour tous les indices qui intègrent la valeur de K ( $S_1$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ , He).

Exception faite de l'année 1964 la corrélation entre C et K est bonne :  $0,67 < r < 0,82$  ; l'expression de K sous forme  $\log_{10} K$  n'apporte pas de modifications sensibles.

### 3.2.3. Stabilité structurale : $S_1$ .

La stabilité structurale intègre les valeurs des indices d'instabilité et de perméabilité.  $S_1$  est d'autant plus grand que K est grand et que Is est petit. L'action des traitements sur  $S_1$  est donc dans le même sens que Is et K.

La stabilité structurale croît significativement (P = 0,05) du traitement « paillage » au traitement « fumier », puis au traitement « paillage + fumier » (cf. tableau VII).

Il y a une interaction entre les traitements et les sous-traitements. Comme pour Is et K, il y a une corrélation entre C et  $S_1$  (exception faite de l'année 1964) :  $0,68 < r < 0,82$ .

TABLEAU VII.  
Indices de perméabilité et de stabilité structurale.

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1964	1966	1967
Indice de perméabilité : K cm/h	Paillage.....	1,32	1,44	0,63
	Fumier.....	1,40	1,90	0,72
	Paillage + fumier.....	1,54	2,28	1,09
	PPDS 5 %.....	NS	0,48	0,29
	PPDS 1 %.....	NS	0,68	0,41
	Interaction traitement/sous-traitement.....	non calculé	**	*
Stabilité structurale $S_t = 20$ ( $2,5 + \log K - 0,837 \log 10 I_s$ )	Paillage.....	53,5	53,0	46,0
	Fumier.....	56,4	57,6	48,3
	Paillage + fumier.....	58,6	62,3	54,8
	PPDS 5 %.....	3,64	3,26	3,60
	PPDS 1 %.....	NS	4,64	5,12
	Interaction traitement/sous-traitement.....	non calculé	*	*

\* : significatif à 5 % ; \*\* : significatif à 1 %.

Les variations sont faibles : CV p. cent = 4,4 à 5,6 p. cent.

### 3-3. DENSITÉ APPARENTE ET POROSITÉ.

La porosité totale est calculée à partir de la densité apparente et de la densité réelle :

$$P. \text{ totale} = 100 - \frac{\text{densité apparente} \times 100}{\text{densité réelle}}$$

La valeur de la densité réelle étant constante et voisine de 2,6 dans l'essai considéré, la porosité totale et la densité apparente varient donc en sens inverse.

Ces deux caractéristiques varient peu entre les traitements ou les années, cependant les parcelles avec « fumier seul » sont toujours significativement plus denses (donc à porosité totale plus faible) que les parcelles paillées (P et P + F) (cf. tableau VIII).

Le paillage permet de diminuer le tassement du sol

dont les causes principales sont l'impact des gouttes d'eau (fortes précipitations ou irrigations par aspersion) et les nombreux passages des ouvriers (une traintaine par an) pour effectuer les travaux culturaux (épandage des engrais, désherbage, œilletonnage, traitements nématocides et charançons, tuteurage, ensachage, comptage de fleurs, récolte). En fait, bien que significatives, les différences de porosité totale entre les traitements sont trop faibles : 2 à 3 % pour avoir une signification agronomique, d'autant plus que la porosité utile et la capacité minima pour l'air sont identiques dans les trois traitements.

Les variations de ces différentes caractéristiques sont faibles, le coefficient de variation est compris entre 2,5 et 4,3 p. cent.

### 3-4. CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES.

A chacune des trois dates de prélèvement de sol, les valeurs des  $pF_3$  et  $pF_{4,2}$  sont significativement

TABLEAU VIII.  
Densité apparente et porosité.

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1964	1966	1967
Densité apparente $D_a$	Paillage.....	1,09	1,07	1,08
	Fumier.....	1,12	1,13	1,15
	Paillage + fumier.....	1,07	1,08	1,12
	PPDS 5 %.....	0,03	0,03	0,05
	PPDS 1 %.....	NS	0,05	0,07
Porosité totale (%) $P_{\text{totale}} = 100 - \frac{D_a \times 100}{2,6}$	Paillage.....	58,2	58,8	58,5
	Fumier.....	57,0	56,6	55,7
	Paillage + fumier.....	58,6	58,7	57,0
	PPDS 5 %.....	NS	1,24	1,81
	PPDS 1 %.....	NS	1,76	2,57
Porosité utile (%) $P_u = P_{\text{totale}} - pF_{4,2} \%$ du volume	Paillage.....	44,6	43,3	45,1
	Fumier.....	45,6	42,4	43,8
	Paillage + fumier.....	47,0	43,9	45,1
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS
	PPDS 1 %.....	NS	NS	NS
Capacité minima pour l'air (%) $A = P_{\text{totale}} - pF_{3,0} \%$ du volume	Paillage.....	37,2	32,6	38,7
	Fumier.....	37,0	32,0	37,0
	Paillage + fumier.....	38,7	33,6	38,4
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS
	PPDS 1 %.....	NS	NS	NS

maxima avec le traitement « paillage seul » de même que pour les  $pF$  2,2 et 2,5 déterminés pour l'année 1964 seulement (cf. tableau IX).

Le traitement « fumier seul » est le plus faible en 1964 et 1966, mais en 1967 il ne diffère pas de « paillage + fumier ».

Par contre *l'eau utile* varie peu en fonction des traitements et les différences ne sont pas significatives (cf. tableau IX).

Le volume d'eau que le sol est capable « d'emmagasiner » et de céder plus ou moins facilement à la plante est donc sensiblement identique avec le paillage ou avec le fumier.

Ce résultat ne signifie pas que le paillage et le fumier

ont une action identique sur le bilan de l'eau du sol. L'action du paillage sur l'économie de l'eau du sol, en liaison avec la diminution de l'évaporation n'est pas étudiée dans cet essai.

Les variations des caractéristiques hydriques sont moyennes, les coefficients de variation sur les valeurs des  $pF$  3 et 4,2 sont compris entre 6 et 11 p. cent, les CV de l'eau utile sont un peu plus élevés : 11 à 16 p. cent.

### 3-5. INDICE DE STRUCTURE.

*L'indice général de structure* ( $F_1$ ) et *l'indice de ressuage* ( $F_2$ ) s'améliorent des traitements « paillage » à

TABLEAU IX.  
Caractéristiques hydriques : humidité p. cent du poids de terre.

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1964	1966	1967
Humidité à $pF$ : 3,0	Paillage.....	19,3	24,5	18,4
	Fumier.....	17,3	21,8	16,4
	Paillage + fumier.....	18,3	23,2	16,7
	PPDS 5 %.....	1,2	1,3	1,3
	PPDS 1 %.....	1,7	1,8	1,8
Humidité à $pF$ : 4,2	Paillage.....	12,3	14,6	12,4
	Fumier.....	10,1	12,6	10,4
	Paillage + fumier.....	10,7	13,7	10,7
	PPDS 5 %.....	0,9	+	1,0
	PPDS 1 %.....	1,3	NS	1,4
Eau utilisable Eu = $pF$ 3,0 — $pF$ 4,2	Paillage.....	7,0	10,0	6,0
	Fumier.....	7,2	9,2	6,0
	Paillage + Fumier.....	7,6	9,5	6,0
	PPDS 5 %.....	NS	NS	NS

TABLEAU X.  
Différents indices de structure.

CARACTÉRISTIQUES	TRAITEMENT	1964	1966	1967
Indice général de structure $F_1 = S_t \sqrt{Pu \times Eu}$	Paillage.....	960	1 142	783
	Fumier.....	1 110	1 209	831
	Paillage + fumier.....	1 154	1 327	947
	PPDS 5 %.....	102	131	56
	PPDS 1 %.....	145	186	79
	Interaction traitement/sous-traitement.....	non calculé	*	*
Indice de ressuyage $F_2 = A \log_{10} K$	Paillage.....	41,4	38,3	29,7
	Fumier.....	41,9	40,6	31,2
	Paillage + fumier.....	45,2	45,0	38,7
	PPDS 5 %.....	NS	3,3	6,0
	PPDS 1 %.....	NS	4,6	8,6
	Interaction traitement/sous-traitement.....	non calculé	NS	*
Indice d'humidité $He = \frac{\sqrt{Pu \times Eu}}{S_t}$	Paillage.....	0,34	0,40	0,37
	Fumier.....	0,35	0,36	0,36
	Paillage + Fumier.....	0,34	0,34	0,32
	PPDS 5 %.....	NS	0,03	0,04
	PPDS 1 %.....	NS	0,05	0,06
	Interaction traitement/sous-traitement.....	non calculé	NS	*

\* : significatif à 5 % ; NS : non significatif.

« fumier » et de « fumier » à « paillage + fumier » (cf. tableau X).

Les deux traitements dans lesquels sont apportés du fumier, ont un *indice d'humidité* inférieur au traitement « paillage seul » (cf. tableau X).

Tous ces indices sont liés plus ou moins étroitement à la teneur en carbone comme le montre les valeurs des coefficients de corrélation :

$$F_1 : 0,61 < r < 0,80$$

$$F_2 : 0,64 < r < 0,74$$

$$He : -0,73 < r < -0,49$$

Les coefficients de variation de ces différents indices sont moyens :

$$F_1 : 5,1 \text{ à } 7,4 \text{ p. cent}$$

$$F_2 : 6,1 \text{ à } 14 \text{ p. cent}$$

$$He : 7,0 \text{ à } 11 \text{ p. cent}$$

## IV. RÉSULTATS AGRONOMIQUES

L'étude agronomique des premières et deuxième révolutions a porté sur le poids moyen des régimes et sur le rendement. A partir de la troisième révolution (replantation de décembre 1964), les observations agronomiques ont été limitées à la mesure de la circonférence des stipes. On sait qu'il existe (P. Lossors, 1963 (8) une corrélation étroite entre le poids des régimes et la circonférence des pseudo-troncs, mesurée au stade floraison, à 1 m au-dessus du sol. Cette corrélation a été vérifiée dans cet essai sur les moyennes des 36 parcelles ; le coefficient « r » calculé est de 0,90, l'équation de la droite de régression s'écrit :

$$Y = -7,16 + 0,58 X \text{ (cf. fig. 6).}$$

A la première révolution le poids moyen des fruits et le rendement sont significativement supérieurs dans le traitement « paillage seul ». A partir de la deuxième révolution, soit de 1961 à 1967 aucune différence ne se manifeste entre les traitements, les résultats sont extrêmement voisins et homogènes dans les diverses parcelles (cf. tableau XI).

Lors de la première révolution (1958-1961) la bana-

neraie n'était pas irriguée, et les apports d'engrais azotés plus faibles (400 kg au lieu de 600 kg à partir de la deuxième révolution). On peut émettre l'hypothèse qu'en présence d'un déficit hydrique et d'une fumure azotée insuffisante la minéralisation du fumier a été longue et la teneur en azote minéral du sol insuffisante, pour l'alimentation du bananier. A partir de 1961 les deux facteurs limitants : déficits d'alimenta-

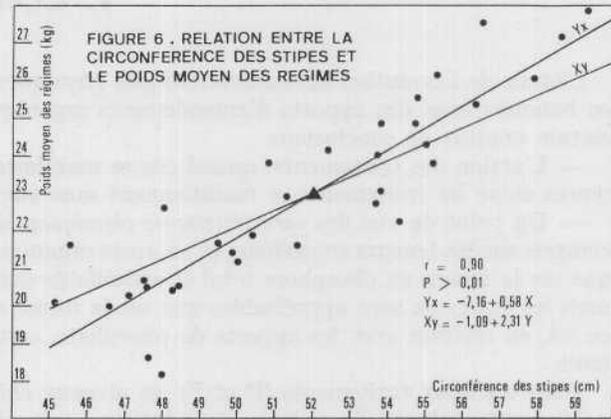


TABLEAU XI.  
Résultats agronomiques.

	PAIL- LAGE	FUMIER	PAIL- LAGE + FUMIER	PPDS		CV (%)
				5 %	1 %	
1 <sup>re</sup> révolution	Rendement 1 <sup>er</sup> cycle en tonnes/hectare, février 1960.....	43,1	39,1	39,6	2,7 3,8	non cal- culé
	Poids moyen des régimes 1 <sup>er</sup> cycle en kilos, février 1960.....	17,5	15,7	16,3	1,0 1,4	non cal- culé
2 <sup>e</sup> révolution	Rendement 1 <sup>er</sup> cycle en tonnes/hectare, septembre 1962....	41,9	41,4	42,8	NS	5,5
	Poids moyens des régimes 1 <sup>er</sup> cycle en kilos, septembre 1962..	17,4	17,8	17,9	NS	4,2
	Rendement 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> cycles cumulés en tonnes/hectare, juin 1963.....	76,1	77,7	75,9	NS	8,1
	Poids moyens des régimes 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>e</sup> cycles cumulés, juin 1963..	18,7	19,3	18,7	NS	4,1
3 <sup>e</sup> révolution	Circonférence des stipes à 7 mois, à 1 m de hauteur et en centi- mètres, juillet 1965.....	48,3	49,3	48,6	NS	4,0
	Circonférence des rejets du 2 <sup>e</sup> cycle, février 1966.....	29,3	30,8	29,2	NS	11
	Circonférence des bananiers, stade floraison 2 <sup>e</sup> cycle, juillet 1966.....	49,6	49,6	47,7	NS	5,3
	Circonférence des rejets 3 <sup>e</sup> cycle, février 1967.....	39,9	40,1	37,8	NS	11

tion en eau et en azote éliminés, les trois traitements ont donné des résultats identiques.

Il est intéressant de noter que l'hétérogénéité des résultats agronomiques est beaucoup plus faible que la laisse prévoir l'hétérogénéité du sol due à la présence des graviers de quartz qui limitent le volume de terre prospecté par les racines de la plante. Compte tenu du dispositif expérimental les coefficients de variation du pourcentage de graviers varient suivant les échantillon-

nages de 32 à 30 p. cent, alors que les CV des rendements, des poids moyens et des circonférences des stipes sont compris entre 4 et 11 p. cent.

Les graviers ont néanmoins une action défavorable sur le développement des bananiers. La corrélation entre le pourcentage des graviers et la circonférence des pseudo-troncs au mois de juillet 1966 (stade floraison du 2<sup>e</sup> cycle de la 3<sup>e</sup> révolution) est significative ( $P = 0,01$ ) et négative :  $r = -0,46$  ( $N = 36$ ).

## V. CONCLUSIONS

L'étude de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques d'un sol ferrallitique cultivé pendant 9 années en bananier avec des apports d'amendements organiques effectués sous différentes formes, permet de dégager un certain nombre de conclusions.

— L'action des traitements, quand elle se manifeste apparaît dès les toutes premières années, ensuite les différences entre les traitements se maintiennent sans augmenter.

— Du point de vue des *caractéristiques chimiques*, le fumier a une action sensiblement identique au paillage, y compris sur les teneurs en carbone et en azote organique. Les deux traitements « paillage » et « fumier » ne diffèrent que sur la teneur en phosphore total et assimilable dont les niveaux sont plus élevés dans le traitement « fumier », mais les écarts ne sont appréciables que sur la forme assimilable. Étant donné le niveau élevé du phosphore dans ce sol, en relation avec les apports de phosphate, cette différence en faveur du fumier est d'intérêt pratique très faible.

Dans ces deux traitements (P et F) les niveaux chimiques n'ont pratiquement pas variés entre 1958 et 1967.

L'apport conjugué de paillage et de fumier augmente les teneurs en carbone et en azote organique et corrélativement la capacité de fixation du complexe absorbant. Cette élévation du niveau apparaît dès les premières années (1961), puis la teneur de la matière organique se stabilise entre 3,5 et 4,0 p. cent sans qu'apparaissent d'effets cumulatifs au cours des années.

Les autres caractéristiques chimiques : rapport C/N, cations échangeables, degré de saturation du complexe absorbant et pH sont très voisines dans les trois traitements et au cours des années. On note toutefois une tendance à l'augmentation des teneurs en magnésium échangeable dans les traitements « paillage + fumier » par rapport aux traitements « paillage » ou « fumier » mais les différences ne sont pas significatives pour toutes les années.

— L'étude des diverses *caractéristiques physiques* dont l'ensemble constitue la structure, montre que la matière organique apportée sous forme de fumier de ferme a une action supérieure à la matière organique apportée sous forme de paillis. L'effet maximum d'amélioration de la structure est obtenu avec l'apport cumulé de paillage et de fumier à la dose de 150 t à l'hectare.

La matière organique du fumier, en augmentant la cohésion et en diminuant la mouillabilité des agrégats exerce une action protectrice sur la dégradation de la structure sous l'action des pluies. Cet accroissement de la stabilité structurale se traduit par une dispersion moindre des éléments fins (argile et limon) améliorant ainsi la perméabilité, donc le ressuyage du sol.

Les diverses caractéristiques structurales étudiées sont généralement en relation étroite avec la teneur en matière organique du sol.

L'action favorable du paillage sur la diminution du tassement du sol, donc sur l'augmentation de la porosité devra être précisée par des mesures *in situ*.

L'élévation de la richesse chimique du sol et l'amélioration de la structure, extrêmement nette dans le traitement « paillage + fumier » ne se répercutent pas sur le développement et sur la production des bananiers. Les *résultats agronomiques* obtenus depuis 1961 sont identiques dans les trois traitements, que l'on considère le rendement des fruits, le poids moyen des régimes ou la circonférence des pseudo-troncs. Quelle interprétation donner à ces résultats contradictoires ? Doit-on considérer que toutes les caractéristiques chimiques et structurales sont bonnes et que les rendements de 40 t/ha par cycle constituent le potentiel maximum de production, dans les conditions écologiques où est réalisé l'essai, ou existe-t-il un facteur limitant qui annule les effets de l'amélioration du sol dus aux apports élevés d'amendement organique ?

De ces résultats, il faut se garder de conclure que les amendements organiques sont inutiles.

Depuis la quatrième révolution (mars 1967) le protocole de cet essai a été modifié, de façon à introduire un quatrième traitement sans amendement organique. Au premier cycle, il apparaît déjà des différences de rendement significatives entre les traitements. Dans les parcelles qui ne reçoivent ni paillage ni fumier on observe des baisses de poids moyen de 1 à 2 kg par régime, par rapport aux trois autres traitements.

L'absence de différences sur la production, entre les diverses formes d'apports organiques donne une préférence au paillage qui est plus facile à se procurer et d'un prix de revient moins élevé que le fumier de ferme, qui nécessite pour sa production l'entretien d'un troupeau.

L'apport de paillage + fumier pourra être conseillé dans certains cas, par exemple lorsque la structure du sol est fortement dégradée. Étant donné le prix de revient d'une telle fumure organique, qui n'exclut pas les apports d'engrais et d'amendements minéraux, celle-ci ne peut être appliquée que dans des cas très particuliers.

## MÉTHODES ANALYTIQUES UTILISÉES

(Laboratoire I. F. A. C.)

### *Granulométrie.*

Méthode pipette. Dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium.

### *Matière organique.*

- Carbone (C). Méthode par voie humide (WALKEY et BLACK).
- Azote (N). KJEHLDAL. Catalyseur au sélénium.

### *Complexe absorbant.*

- Échange des cations à l'acétate d'ammonium normal pH 7.
- Dosage de Ca et Mg par complexométrie par l'EDTA N/50.
- Dosage de K et Na par spectrophotométrie.
- Saturation du complexe par CaCl<sub>2</sub>; déplacement de Ca par NO<sub>3</sub>K. Dosage de Ca par complexométrie pour le dosage de la capacité de fixation.
- Somme des cations par addition des éléments du complexe.
- pH sur pâte de sol; à l'électrode de verre.

### *Phosphore assimilable.*

Méthode DYER (extraction citrique à 2 %). Dosage au sulfomolybdate d'ammonium par colorimétrie.

### *Caractéristiques pour l'eau.*

- Presse, sur plaque poreuse : pF 4,2 = 16 000 g/cm<sup>2</sup>  
pF 3 = 1 000 g/cm<sup>2</sup>

### *Densités.*

- Apparente (DA) : rapport  $\frac{\text{poids}}{\text{volume}}$  de la terre qui a servi à la détermination de l'indice de perméabilité.
- Réelle (DR) : méthode picnométrique.

### *Porosité totale.*

- Calculée d'après la formule :

$$P \% = \frac{DR - DA}{DR} \times 100$$

## BIBLIOGRAPHIE

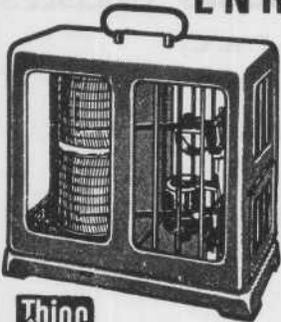
- (1) CHAMPION (J.). — Quelques indications sur les besoins en eau du bananier « nain ». *Fruits*, vol. 15, n° 9, 1960.  
(2) CHAMPION (J.), DUGAIN (F.), MAIGNIEN (R.) et DOMMERGUES

(Y.). — Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée. *Fruits*, vol. 13, n° 9-10, 1958, p. 415-462.

- (3) DABIN (B.). — Relation entre les propriétés physiques et la fer-

- tilité dans les sols tropicaux. *Annales agronomiques*, 1962, 13 (2) 111-140.
- (4) DABIN (B.) et LENEUF (N.). — Les sols de bananeraies de la Côte d'Ivoire. Structure et bilan d'eau. *Fruits*, vol. 15, n° 2, 1960.
- (5) DABIN (B.). — Fractionnement des différentes formes de phosphore du sol. *Cahiers de pédologie*, n° 3, O. R. S. T. O. M., 1963, p. 33-42.
- (6) GODEFROY (J.). — Action d'un apport de fumier et de paillage sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol de bananeraie. Rapport annuel 1967, document 27.
- (7) HENIN (S.), FEODOROFF (A.), GRAS (R.) et MONNIER (H.). — 1960. Le profil cultural. S. E. I. A., Paris, 1 vol., 320 p.
- (8) LOSSOIS (P.). — Recherche d'une méthode de prévision des récoltes en culture bananière. *Fruits*, vol. 18, n° 6, 1963.
- (9) MOHSENIAN (M.). — Effet du paillage sur l'économie de l'eau d'un sol dépourvu de végétation : thèse de doctorat 1966, faculté des sciences de l'Université de Paris.
- (10) MONNIER (G.). — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols : thèse de doctorat, 1965, Faculté des sciences de l'Université de Paris.
- (11) MONNIER (G.) et GRAS (R.). — Action d'une culture d'engrais vert sur les propriétés physiques d'un sol de verger. *Annales agronomiques*, 1965, 16 (5) 553-577.

## ENREGISTREURS

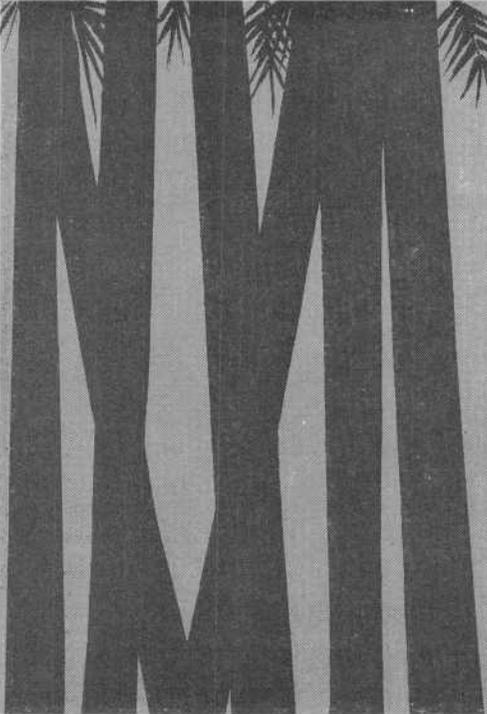


Thermo  
Hygro  
Psychro  
Baro  
Pluvio

# BLET

INSTRUMENTS DE MESURE  
ET DE CONTROLE DE PRÉCISION  
132, faubourg St-Denis, PARIS (X<sup>e</sup>)  
Tél.: COMbat 44.16 (3 lignes groupées)





# engrais potassiques

373 R



RENSEIGNEMENTS - DOCUMENTATION  
**SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE**  
 11, av. de FRIEDLAND - PARIS 8<sup>e</sup> - Tél. : 225-74-50 - Telex : 28 709 POTA-PARIS

